



Espacenet

Bibliographic data: DE 19941600 (A1)

Guiding and optimizing hot rolling of a metal strip comprises using electromagnetic radiation emitted from the hot metal as a spectrum

Publication date: 2001-03-15

Inventor(s): FURUMOTO HERBERT [DE]; GRAMCKOW OTTO [DE]; LAMPE UWE [DE]; MEIXNER HANS [DE] +

Applicant(s): SIEMENS AG [DE] +

Classification:

- **international:** *B21B37/00; B21C51/00; C21D11/00; B21B37/76;* (IPC1-7): B21B37/00; G05B17/00
- **European:** B21B37/00; B21C51/00; C21D11/00

Application number: DE19991041600 19990901

Priority number (s): DE19991041600 19990901

Also published as: • DE 19941600 (C2)

Abstract of DE 19941600 (A1)

Guiding and optimizing hot rolling of a metal strip comprises determining online and evaluating the electromagnetic radiation emitted from hot metal as a spectrum; determining crystallographic conversions, structure conversions and/or chemical conversions at a determined temperature; and deriving suitable process control and/or regulation parameters for optimizing the process depending on the degree of conversion and/or course of conversion and/or carrying out an online adaptation of the process model. Preferred Features: The spectrum of the electromagnetic radiation is evaluated with neuronal networks.

Last updated: 26.04.2011 Worldwide Database 5.7.22; 92p



⑲ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 199 41 600 A 1**

⑤① Int. Cl.⁷:
B 21 B 37/00
G 05 B 17/00

⑳ Aktenzeichen: 199 41 600.1
㉔ Anmeldetag: 1. 9. 1999
㉕ Offenlegungstag: 15. 3. 2001

DE 199 41 600 A 1

㉑ Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

㉒ Erfinder:
Furumoto, Herbert, Dr., 91052 Erlangen, DE;
Gramckow, Otto, Dr., 91080 Uttenreuth, DE; Lampe,
Uwe, Dr., 21614 Buxtehude, DE; Meixner, Hans, Dr.,
98724 Neuhaus, DE

⑤⑥ Entgegenhaltungen:
Auzinger, D., Parzer, F., Posch, G.: Process optimi-
zation for laminar cooling. In: Iron and Steel
Engineer, August 1998, S.45-49;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zur Prozeßführung und Prozeßoptimierung beim Warmwalzen von Metall

⑤⑦ Speziell beim Warmwalzen von Metallbändern wird die von der heißen Metalloberfläche emittierte elektromagnetische Strahlung online erfaßt und ausgewertet. Dabei werden mit der Auswertung kristallographische Umwandlungen und/oder Gefügeumwandlungen und/oder chemische Umwandlungen, die bei bestimmten Temperaturen des Metalles erfolgen, erfaßt. Aus der Kenntnis des Umwandlungsgrades bzw. des Umwandlungsverlaufes werden geeignete Prozeßsteuer- und/oder Regelgrößen zur Prozeßoptimierung abgeleitet. Bei Zugrundelegung eines Prozeßmodells kann dieses Modell online adaptiert werden.

DE 199 41 600 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Prozeßführung und Prozeßoptimierung beim Warmwalzen von Metall, insbesondere eines Stahlbandes.

Speziell bei Stahl als spezifisches Eisen-Kohlenstoff(Fe-C)-Metall erfolgt am Ende des Warmwalzprozesses in der Abkühlzone eine Umwandlung des γ -Eisens in das bei Raumtemperatur stabile α -Eisen. Dieser Umwandlungsprozeß findet vorrangig in der Abkühlstrecke für das Stahlband statt.

Für die Prozeßführung beim Warmwalzen von Stahlband muß daher der Umwandlungsprozeß berücksichtigt werden. In der Praxis ist es aber schwierig, den Umwandlungspunkt und den Umwandlungsgrad im Stahlband unter rauen Betriebsbedingungen zu erfassen.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren anzugeben, mit dem die Strukturumwandlung direkt im laufenden Abkühlprozeß bestimmt werden kann.

Die Aufgabe ist erfindungsgemäß bei einem Verfahren der eingangs genannten Art durch die Abfolge der Schritte gemäß Patentanspruch 1 gelöst.

Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen angegeben. Insbesondere ist dort eine Vorgehensweise für Stahlbänder, die mit einer Oxidschicht versehen sein können, angegeben.

Mit der Erfindung ist eine Online-Messung realisiert. Es wird die vom heißen Metallband emittierte elektromagnetische Strahlung erfaßt und ausgewertet. Damit ist es möglich, kristallographische und/oder Strukturumwandlungen und/oder chemische Umwandlungen qualitativ und quantitativ zu erfassen. Mit der Kenntnis des Umwandlungsgrades bzw. des Umwandlungsverlaufes können aber Prozeßsteuer- und/oder Regelgrößen zur Prozeßoptimierung abgeleitet werden. Sofern der Prozeßsteuerung geeignete Prozeßmodelle zugrunde gelegt werden, können diese online adaptiert werden.

Die Erfindung wird nachfolgend im einzelnen anhand von Ausführungsbeispielen beschrieben.

Ein steigender Anteil von Qualitäts-Stahlblechen wird durch den Warmwalzprozeß hergestellt. Der abschließende Verfahrensschritt des Warmwalzprozesses ist dabei die Abkühlung und Nachbehandlung des Stahlbandes. Dabei wird das heiße Stahlband, das aus der letzten Walze des Walzgerüsts kommt, mit großen Mengen von Wasser in einer Kühlstrecke abgekühlt.

Der wesentliche Prozeß im letzteren Verfahrenszustand ist die Umwandlung von γ -Eisen in α -Eisen. Diese Umwandlung ist von hoher Bedeutung für die Qualität der erzeugten Stahlbänder.

Die Temperatur und die Geschwindigkeit der Umwandlung hängt in starkem Maße von der chemischen Zusammensetzung, d. h. vom Anteil der Legierungsbestandteile, insbesondere von Vanadium (V), Titan (Ti) oder Niob (Nb) bzw. geringen Anteilen von Stickstoff (N) oder Kohlenstoff (C), ab.

Letztere Bestandteile haben einen starken Einfluß auf die Strukturumwandlung und damit auf die Qualität des resultierenden Produktes. Starken Einfluß auf die Umwandlungsgeschwindigkeit hat weiterhin die Kornstruktur, d. h. die Größe der einzelnen Körner, die Zahl und Art von Versetzungen und Ausscheidungen.

Ein weiteres Problem ist, daß die Strukturumwandlung nicht im thermischen Gleichgewicht stattfindet. Im Normalfall ist die Transformations-Temperatur geringer als die Gleichgewichtstemperatur des Prozesses. Dies verstärkt den Einfluß der Kornstruktur auf die Umwandlungsrate und damit auf die Umwandlungstemperatur, was bedeutet, daß die

Vorbehandlung im gesamten Warmwalzprozeß bis zum Kühschritt Einfluß auf die Strukturumwandlung und deren Ergebnisse haben kann.

Die Strukturumwandlung bei Stahl wird im wesentlichen durch das bekannte Zustandsdiagramm Fe-C angegeben. Zwischen 723°C und 906°C existiert im Bereich der relevanten Kohlenstoff(C)-Konzentration ein Gleichgewicht von α -Mischkristallen (Ferrit) und γ -Mischkristallen (Austenit), das sich bei Abkühlung verändert, womit eine Strukturumwandlung verbunden ist. Die Strukturumwandlung von γ -Eisen in α -Eisen beinhaltet dabei einen Wechsel der kubisch flächenzentrierten (FCC = face centered cubic) zur kubisch raumzentrierten (BCC = body centered cubic) Kristallstruktur. Dadurch ändert sich die Bindungsgeometrie und Bindungskraft innerhalb der Kristallstruktur, was sich auf die atomaren Schwingungen und Gittervibrationen auswirkt.

Es wurde nunmehr erkannt, daß die Änderungen der atomaren Schwingungen und Gittervibrationen zu Unterschieden insbesondere in Infrarotspektren führt, die durch die Eigenstrahlung der heißen Stahlbänder erzeugt werden. Diese Eigenstrahlung kann mit einem geeigneten Spektrometer erfaßt werden.

Es werden daher Messungen bei einer im Walzband vorliegenden, ausreichend hohen Temperatur im Bereich von 550 bis 900°C durchgeführt und die Emissionsspektren des Stahlbandes gemessen und analysiert. Die Messungen können prinzipiell im gesamten Infrarot-Bereich, d. h. im Bereich des nahen Infrarot (NIR: 0,8 bis 2,5 μ m), im Bereich des mittleren Infrarot (MIR: 2,5 bis 20 μ m) und des fernen Infrarot (FIR: 20 bis 1000 μ m) durchgeführt werden. Im Einzelfall werden jeweils unterschiedliche Typen der Schwingungen erfaßt.

Für die technische Realisierung wird speziell eine Messung im NIR-Bereich durchgeführt, da hier geeignete Spektrometer zur Verfügung stehen. Wichtig ist dabei deren praktische Anwendbarkeit in den rauen Bedingungen des Walzprozesses in der Nähe des Stahlbandes.

Dabei ist zu beachten, daß die Eindringtiefe der NIR-Strahlung vergleichsweise niedrig ist, beispielsweise im Bereich von 1 bis 2 μ m. Dadurch resultiert die abgestrahlte Strahlung hauptsächlich von der Materialoberfläche des Stahlbandes.

Bei den beschriebenen Beispielen wird zwischen der Oberflächenstrahlung und der Festkörperstrahlung unterschieden. Dies ist deswegen notwendig, da das heiße Stahlband mit einem dünnen Film von Zunder, d. h. mit Eisenoxiden, von mehreren Mikrometern Dicke bedeckt sein kann.

Zur Anwendung der Strahlung im nahen Infrarotbereich wird die Tatsache verwendet, daß speziell die oxidbehaftete Oberfläche von Stahl nicht im gesamten Bereich des Spektrums emittiert, sondern daß beide spezifische Eisenphasen eine signifikante Emission in bestimmten Bereichen dieses Strahlungsfensters haben.

Bei einem anderen Ausführungsbeispiel wird die Strahlung im Bereich der längeren Wellenlängen, d. h. im Bereich von MIR und FIR, ausgeführt. Die Eindringtiefe bei diesen Wellenlängenbereichen ist erheblich tiefer und kann bis zu 100 μ m betragen. Dadurch kommen die emittierte Strahlung aus tieferliegenden Regionen des Stahlbandes, die insbesondere unterhalb der Zunderschichten liegen.

MIR-Spektrometer sind bekannt. Bei Verwendung solcher Spektrometer muß beachtet werden, daß Glasfasern, die für den Bereich von VIS und NIR benutzt werden, nicht geeignet sind für Wellenlängen größer als 2,4 μ m, weil dann eine starke Absorption auftritt. Im Bereich bis zu 20 μ m können Lichtleiter aus spezifischen Materialien genutzt werden, die Chloride und/ oder Chalkogenide enthalten und in

Längen bis zu 10 m zur Verfügung stehen.

In anderen Ausführungsformen können zur Übertragung der emittierten Strahlung Spiegelsysteme vorhanden sein, die temperaturempfindlich sind. Dafür müssen Mittel vorhanden sein, welche die Kontaminierung der Spiegel verhindern und eine mechanische Stabilität gewährleisten.

Zur Auswertung der Spektren können entweder chemometrische Methoden oder neuronale Netze zum Einsatz kommen. Dafür ist es notwendig, daß kontinuierliche Spektren erfaßt werden und in entsprechender Weise mittels multivariater Datenanalyse ausgewertet werden. Im einzelnen werden dafür die bekannten chemometrischen Methoden der sogenannten Hauptkomponentenanalyse (PCA oder PCR) angewendet oder die Auswertemethode der kleinsten Quadrate (PLS).

Letztere mathematische Methoden sind heute als Standardtools für die Auswertung von kontinuierlichen Spektren verfügbar. Diese Tools setzen lineare Modelle voraus, um die Konzentrationen von Komponenten der zu untersuchenden Stoffe zu ermitteln. Im einzelnen werden nicht nur Absorptionswerte, sondern auch ausgewählte Wellenlängen und spezifische Strukturen der Spektren, wie Peakhöhe, Weite, Flanken und Überlappungen, ausgewertet. Es können auch physikalische Parameter der zu untersuchenden Stoffe erfaßt werden.

Im einzelnen ergibt sich bei der Auswertung von Spektren, daß die Genauigkeit der Auswertung mit der Komplexität der Spektren sinkt. Alternativ zu den chemometrischen Methoden können daher auch neuronale Netze eingesetzt werden, mit denen die Meßwerte bei singulären Wellenlängen miteinander verknüpft werden. Solche neuronalen Netze können anhand von vorgegebenen Spektren trainiert werden, so daß im praktischen Einsatz die erfaßten Spektren interpretiert werden.

Mit der Erfindung wird also erstmalig die Infrarot-Spektroskopie als Online-Sensor zur Erfassung von Umwandlungen in Stahl und deren Einsatz bei der Prozeßführung beim Warmwalzen vorgeschlagen. Außer an Stahlbändern kann die Erfindung auch beim Warmwalzen anderer Metalle eingesetzt werden.

Bei der angestrebten Prozeßoptimierung wird der Prozeßsteuerung ein Abkühlmodell zugrunde gelegt, bei dem die spezifische Wärme und die exotherme Wärmetönung, die vom Umwandlungsgrad abhängen, erfaßt und die gemessenen Umwandlungsgrade zur Adaption des Abkühlmodells benutzt werden. In Abhängigkeit vom gemessenen Umwandlungsgrad wird dabei die Kühlung so gesteuert, daß sich ein vorgegebener Temperaturverlauf ergibt. Dazu erfolgt vorteilhafterweise die Messung an einem festen Punkt über dem vorbeibewegten Metallband und es wird der Umwandlungsgrad in Längsrichtung gemessen und als Längsprofil angezeigt.

Bei den vorstehend beschriebenen Beispielen kann die Messung auch über die Breite des vorbeibewegten Metallbandes mit einer traversierenden Sonde erfolgen oder durch mehrere parallel über die Breite angeordnete Sonden realisiert werden. Insbesondere kann durch der Verzunderungsgrad in Querrichtung ermittelt und als Querprofil dargestellt werden.

Die Erfindung wurde im einzelnen beim Warmwalzen eines Stahlbandes als Metall beschrieben. Bei durch Ziehen erzeugten Metalldrähten liegen ganz entsprechende Verhältnisse bezüglich der kristallographischen Umwandlungen, der Gefüguwandlungen und/oder der chemischen Umwandlungen vor, so daß in gleicher Weise auch die Steuerung von Drahtziehstraßen erfolgen kann.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Prozeßführung und Prozeßoptimierung beim Warmwalzen von Metall, insbesondere eines Metallbandes, mit folgenden Schritten:

– Die vom heißen Metall emittierte elektromagnetische Strahlung wird als Spektrum online erfaßt und ausgewertet,

– mit der Auswertung werden kristallographische Umwandlungen und/oder Gefüguwandlungen und/oder chemische Umwandlungen, die bei bestimmten Temperaturen des Metalles erfolgen, ermittelt,

– in Abhängigkeit vom Umwandlungsgrad bzw. vom Umwandlungsverlauf werden, geeignete Prozeßsteuer- und/oder Regelgrößen zur Prozeßoptimierung abgeleitet und/oder eine online Adaption der Prozeßmodelle durchgeführt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Spektrum der elektromagnetischen Strahlung mit neuronalen Netzen ausgewertet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein kontinuierliches Spektrum der elektromagnetischen Strahlung aufgenommen wird und daß das kontinuierliche Spektrum mit chemometrischen Methoden ausgewertet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Metall ein Stahlband ist, das einem Warmwalzprozeß und/oder einem Kühlprozeß unterzogen wird, wobei die Umwandlung der Kristallstruktur eine Umwandlung von γ -Eisen (Austenit) in α -Eisen (Ferrit) ist.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß aus dem Spektrum der Anteil von Ferrit und Austenit erkannt wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Spektrum im Bereich des Infraroten (IR: 0,5 bis 1000 μm) gemessen wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Messung im Bereich des nahen Infrarot (NIR: 0,8 bis 2,5 μm) erfolgt.

8. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Messung im Bereich des mittleren Infrarot (MIR: 2,5 bis 20 μm) erfolgt.

9. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Messung im Bereich des fernen Infrarot (FIR: 20 bis 1000 μm) erfolgt.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 9, wobei das Metall ein mit einer Oxidschicht bedecktes Stahlband ist, dadurch gekennzeichnet, daß aus dem IR-Spektrum die Oxidschicht auf der Oberfläche erkannt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß aus dem IR-Spektrum die Stärke der Oxidschicht auf der Oberfläche des Stahlbandes ermittelt wird.

12. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei zur Prozeßoptimierung eine Kühlung des gewalzten Metalles erfolgt, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühlung in Abhängigkeit vom gemessenen Umwandlungsgrad so gesteuert wird, daß sich ein vorgegebener Umwandlungsverlauf ergibt.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß in Abhängigkeit vom gemessenen Umwandlungsgrad die Kühlung so gesteuert wird, daß sich ein vorgegebener Temperaturverlauf ergibt.

14. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche

che 1 bis 11, wobei der Prozeßsteuerung ein Abkühlmodell zugrunde gelegt wird, dadurch gekennzeichnet, daß die spezifische Wärme und die exotherme Wärmetönung in Abhängigkeit vom Umwandlungsgrad erfaßt und die gemessenen Umwandlungsgrade zur Adaption des Abkühlmodells benutzt werden. 5

15. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Messung an einem festen Punkt über dem vorbeibewegten Metallband erfolgt und der Umwandlungsgrad in Längsrichtung gemessen und als Längsprofil angezeigt wird. 10

16. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Messung über die Breite des vorbeibewegten Metallbandes mit einer traversierenden Sonde oder durch mehrere, parallel angeordnete Sonden erfolgt, womit der Umwandlungsgrad sowohl in Längs- als auch in Querrichtung des Metallbandes gemessen wird und als Längs- und/oder Querprofil anzeigbar ist. 15

17. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Messung und Optimierung an einem Metalldraht in einer Drahtziehstraße erfolgt. 20

25

30

35

40

45

50

55

60

65